

밭에서의 소규모 침사구 적용효과 평가

Assessment of application effect a small sediment trap at field

신민환*, 장정렬**, 최용훈***, 신재영****, 최종대*****

Min Hwan Shin, Jeong Ryeol Jang, Yong Hun Choi

Jae Young Shin, Joong Dae Choi

요 지

전 국토의 약 7.6%를 차지하고 있는 밭은 장마철이나 집중호우에 의해 하천의 탁수문제를 유발할 뿐만 아니라, 수생태계에도 악영향을 미치기 때문에 비점오염원을 저감시켜야 한다. 이러한 비점오염원을 줄이기 위한 여러 최적관리방법 중 침사구를 밭의 유출부에 적용하여 비점오염물질의 유출저감효과를 평가 하고자 하였다. 평가 방법은 6개(각 110m²)의 무밭을 조성하여 무 재배기간(2011년 4월부터 7월) 동안 시험포에서 발생하는 강우유출수를 1.125 m³(1.5 m× 1.5 m× 0.5 m) 크기의 침사구 3개로 각각 유입되도록 하였다. 침사구로 유입된 유출수는 토양으로 침투 및 저류 또는 증발되도록 하였고, 강우에 의한 유출수의 양이 침사구의 용량보다 클 경우 침사구 유출부를 통해 유출되도록 하였다. 연구 결과 평균 64.1%의 유출량 저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 수질농도는 BOD₅ 39.0%, SS 62.1%, COD_{Mn} 43.4%, DOC 43.5%, T-N 40.0%, T-P 41.2%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 유출량과 수질농도를 고려한 오염부하 저감효과는 유출량이 적었던 #2와 #3의 침사구에서 모든 수질항목에서 각각 80%와 90% 이상의 저감효과가 나타났다. 본 연구의 결과를 바탕으로 밭에서 발생하는 비점오염물질 저감을 위해 밭의 유출부에 작은 웅덩이 와 같은 침사구를 설치할 경우 비점오염을 저감하는데 매우 효과적인 것으로 판단된다. 또한 강우유출수가 적을 경우 침사구에 의한 유사량의 저감효과도 매우 클 것으로 판단된다. 따라서 밭에서 발생하는 비점오염원을 줄이기 위해서는 본 연구와 같이 밭의 지표를 벗짚이나 다른 피복재 등으로 피복하여 토양의 이동을 최소한으로 줄여 오염부하량을 저감하고, 유출이 발생할 경우 밭의 유출부에 침사구를 설치하여 하천으로 유입되는 오염물질을 저감해야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 비점오염물질, 수질농도, 유출량, 피복재, 침사구

1. 서론

논이나 밭 등의 농경지에서 발생하는 오염물질은 비료와 퇴비 등의 사용량이 많으며, 하천의 탁수오염을 발생시키는 토양유실과 함께 배출되기 때문에 비점오염부하가 상대적으로 높게 평가되고 있다. 또한 밭의 경우 경사가 심하고, 작물을 재배하지 않는 기간에는 나지상태로 방치되어 있어, 강우시 다량의 토사와 함께 유기물질 등의 비점오염물질이 유출되기 쉽다. 이러한 비점오염원을 줄이기 위한 방법으로는 식생대와 등고선 경작, 식생밭두렁, 멀칭, 녹비작물, 계단식 논, 식생사면 조성, 다년생 작물재배, 피복 및 경운방법 등의 최적관리방법이 있다(Masse et al., 1996; Garcia-Orenes et al., 2009). 여러 최적관리방법을 다시 구조물을 설치하는 구조적인 방법과 구조물의 설치가 없는 비구조적인 방법으로 구분할 수 있다. 비구조적 방

* 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 대학원생 · E-mail : uv2000wind@nate.com

** 정회원 · 농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원 · E-mail : wjang@ekr.or.kr

*** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 대학원생 · E-mail : tlemjin@nate.com

**** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 대학원생 · E-mail : tlswodud1466@naver.com

***** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 교수 · E-mail : jdchoi@kangwon.ac.kr

법으로는 경지의 보전경운방법과 잔유물(residue) 관리, 가축분뇨 유기비료의 적정량 사용, 주거지역의 배수로 등 청소, 친환경농법과 자연환경 보전에 관한 교육 등이 있다. 구조적인 방법으로는 인공습지나 침전지, 침사지, 침사구, 수변구역이나 완충지대의 조성, 받정지 정리를 통한 계단식 경지의 확보, 유사방지용 사방댐(check dam)의 건설 등이 있다. 특히, 고령지 경사농경지와 같이 경사가 급한 밭 농사지역에서는 침사지와 배수로를 설치하여 밭에서 발생하는 유사와 영양염류의 오염물질을 제어할 수 있다. 그러나 우리나라에서는 아직까지 침사구에 대한 연구나 평가가 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 밭에서 발생하는 비점오염물질의 유출을 저감하기위해 침사구를 적용하여 비점오염물질 유출 저감효과를 평가하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 경우특성

비점오염물질은 건기시 다양한 형태의 오염원으로 존재하고 있다가 강우에 의해 유출이 발생할 경우 강우유출수와 함께 하천으로 유입되어 수질 및 수생태계에 악영향을 끼친다. 이때 발생하는 오염물질은 강우에 의한 영향이 가장 크기 때문에 연구지역의 강우 특성 분석하는 것은 비점오염물질 저감대책을 위한 가장 우선적으로 선행되어야 한다. 따라서 연구대상 지역인 춘천지역의 기상청 자료를 이용하여 30년 평균 연강수량을 분석하였다.

2.2 침사구 조성

밭에서 발생하는 비점오염원 저감효과를 분석하기 위해 6개(각 110m²)의 무밭 시험포를 조성하여 무 재배기간(2011년 4월부터 7월) 동안 시험포에서 발생하는 강우유출수를 1.125 m³(1.5 m × 1.5 m × 0.5 m) 크기의 침사구로 유입되도록 하였다. 시험포에는 실제 영농방법과 동일하게 무를 재배하였으며, 밭의 지표에는 피복재를 적용하였기 때문에 각 시험포에서 발생하는 유출수의 양이 상이하였다. 그림 1과 같이 동일하게 적용된 각 시험포 2개(관행, 벧짚, 벧짚거적)에서 발생하는 유출수가 1개의 침사구에 유입되도록 총 3개(#1, #2, #3)의 침사구를 설치하였다. 시험포 하단부에는 시험포에서 발생하는 오염물질의 양을 측정하기 위해 Flume과 수위계 그리고 수질자동시료채취기를 설치하여 유량과 수질농도를 측정하였다. 또한 시험포에서 발생한 유출수는 토양침투나 외부로의 유출을 차단하고, 모든 유출수가 침사구로 유입되게 하기 위해 비닐 배수로를 설치하였다. 이때 시험포와 동일하게 유출부에 Flume과 수위계 그리고 수질시료채취를 위한 샘플러(카속턴 휠)를 설치하여 유량과 수질농도를 측정하였다.

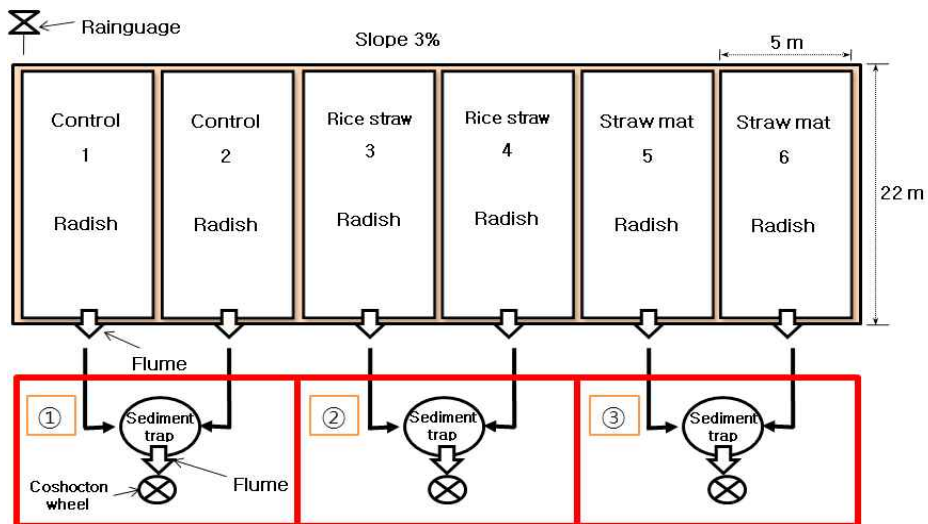


그림 1. 유출시험포와 모니터링 시설

2.3 강우유출수와 부하량 산정

시험포에서 유출되어 침사구로 유입되는 유입수와 침사구에서 용량을 초과하여 유출되는 유출수에 대한 부하량을 비교하여 침사구의 비점오염 저감효과를 분석하기 위해 유량과 수질농도를 측정하였다. 유입수와 유출수의 유량은 Flume을 통해 통과하는 수량의 수위를 측정하여 수위-유량곡선을 이용하여 유량으로 환산하였다. 수위측정은 밭의 경우 강우에 의한 유출량의 변화가 크기 때문에 '강우유출수 조사방법'에서 제시하는 강우유출수 조사방법의 측정간격보다 적은 5분 간격으로 측정하였다(환경부, 2009). 수질분석은 시험포의 경우 유출지속시간에 따라 30분~2시간 간격으로 채취하였으며, 침사구는 카속틴 휠을 통해 수집되는 유출수를 채취하였다. 채취된 수질시료는 수질오염공정시험방법에 따라 BOD₅, SS, COD_{Mn}, DOC, T-N 그리고 T-P 등을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연구유역의 강우특성

춘천지역의 30년 평균 연 강우량은 1,298.7 mm로 우리나라 전국평균 1,307.7 mm(1981~2010년)와 비슷한 것으로 나타났으며(기상청, 2011), 선행연구에 따르면 춘천지역의 경우 하루에 100 mm 이상의 집중호우가 연 1.5회 발생한다고 하였다(신민환 등, 2011). 특히 비점오염원의 배출이 상대적으로 높은 50~100 mm 사이의 일강우량은 연강우량의 23.8%를 차지한다고 하였다. 본 연구에서 연구기간 동안 (2011년 3월~7월) 분석한 강우량은 12.8~538.2 mm(평균 83.3 mm)의 강우범위로 연구유역의 오염물질이 발생할 수 있는 강우량에 대한 대부분의 강우계급을 분석한 것으로 나타났다. 또한 본 연구에서 측정한 결과는 강우에 의해 밭에서 유출이 발생한 강우사상만을 분석한 횟수에 포함한 결과로써, 유출이 발생하지 않은 10 mm 이하의 강우량 까지 포함한다면 연구유역에 발생할 수 있는 모든 강우량에 대해 분석한 결과라고 볼 수 있다. 특히 최근 기후변화로 인해 폭우성 강우가 급증하고 있기 때문에 본 연구와 같이 밭에서 강우에 의한 비점오염물질 유출특성을 분석하기 위해서는 100 mm 이상의 강우에 의한 유출특성도 고려하여 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.2 침사구의 유입 및 유출량

침사구로 유입된 강우사상은 관행시험포 침사구(#1)를 기준으로 연구기간 동안 총 16회가 유입이 되었으며, 침사구로 유입된 후 침사구의 용량을 초과하여 Flume을 통해 유출이 발생한 강우사상은 총 14회였다. 유출이 발생하지 않은 2회의 강우사상에 대해서는 침사구의 저감효과가 100% 인 것으로 간주하였다. 시험포에서 유출되어 침사구로 유입된 유입량은 0.002~79.166 m³(평균 5.816 m³)으로 나타났으며, 유입량이 가장 많은 관행시험포 침사구(#1)를 기준으로 분석한 유출량은 유출이 발생하지 않은 0부터 538.2 mm의 강우에 의해 발생한 82.1 m³의 범위로 나타났다. 강우량과 면적을 고려한 침사구의 유출률은 0~0.693의 범위로 나타났으며, 침사구로 유입된 외부유입수는 0.098~4.131 m³로 나타났다. 침사구에 의한 유출량 저감효과는 유입수가 가장 많은 관행지구시험포 침사구(#1)가 1.4~100%(평균 33.1%)의 저감효과가 나타났고, 벚짚 시험포 침사구(#2)가 15.1~100%(평균 71.5%), 유입수가 가장 적은 벚짚거적시험포 침사구(#3)는 26.4~100%(평균 91.5%)의 저감효과가 나타났다. 3개의 침사구 저감효과를 종합해 보면 평균 64.1%의 유출량 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 동일한 크기 3개의 침사구 유입량을 기준으로 유출량 저감율을 그래프로 나타낸 결과는 그림 2와 같다. 그림과 같이 #2와 #3 침사구의 경우 유입량이 적을 경우 대부분 100%에 가까운 저감효과가 나타났으며, 유입량이 많은 #1 침사구의 경우는 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 이는 강우강도와 강우량에 의한 침사구의 유입량과 침사구 토양의 함수비에 영향을 미치는 선행무강우 일수에 의한 영향으로 보여진다. 연구기간 2011년 4~7월 동안 총 1,332 mm의 강우가 발생하고, 장마철 기간이 길 경우는 #1과 같이 침사구의 저감효과가 적어질 수 있으나, 강우량이 적거나 집중호우 기간이 짧

으면 #2와 #3과 같이 침사구의 저감효과가 커질 것으로 판단된다.

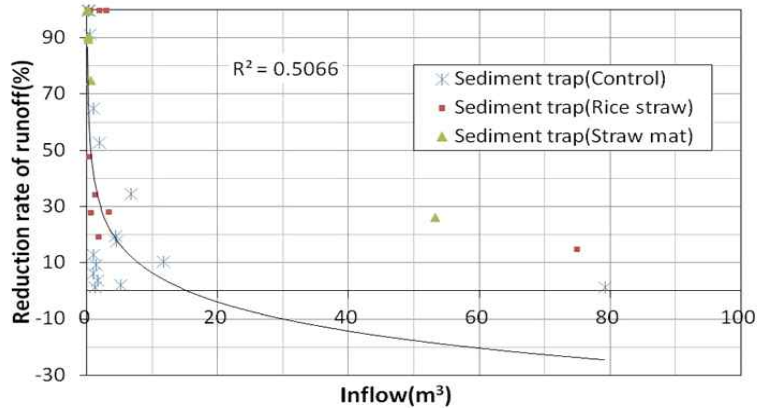


그림 2. 유출량 저감율 그래프

그림 3의 (a)~(c)는 강우시 침사구(#1, #2, #3)에 고인 유입수, 그리고 (d)~(f)는 강우 종료 후 24시간 동안 침투와 증발이 발생한 뒤 침사구의 수위변화를 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 동일한 크기의 침사구 3개에 유입된 유입량이 조금씩 차이가 난 것을 알 수 있으며, 강우종료 후 24시간이 지나면 침사구의 용량 1.125 m³에 저류되어 있던 유입수가 모두 침투 및 증발로 인해 저감된 것을 알 수 있다. 이와 같이 시험포에서 발생하는 강우유출수가 침사구의 용량을 초과하지 않으면, 밭에서 발생하는 비점오염원을 저감시키는데 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 또한 침사구에 퇴적된 세립자의 토양만큼 시험포에서 발생한 세립자의 부유물질을 하천으로 유입되지 않게 막을 수 있을 것으로 판단되며, 이로 인해 하천의 탁수 문제나 수생태계에 미치는 악영향을 줄일 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 그림 3의 (d)와 같이 세립자의 부유물질이 침사구 토양의 공극을 막아 침사구의 비점오염물질 저감효과가 줄어들 수 있다. 따라서 침사구의 저감효과를 높이기 위해서는 침투짚단을 설치하거나 주기적으로 침사구 표면의 흙 제거 및 교란을 통해 토양의 공극을 확보함으로써 침사구의 침투효율을 유지 및 관리 할 필요가 있는 것으로 보여진다.

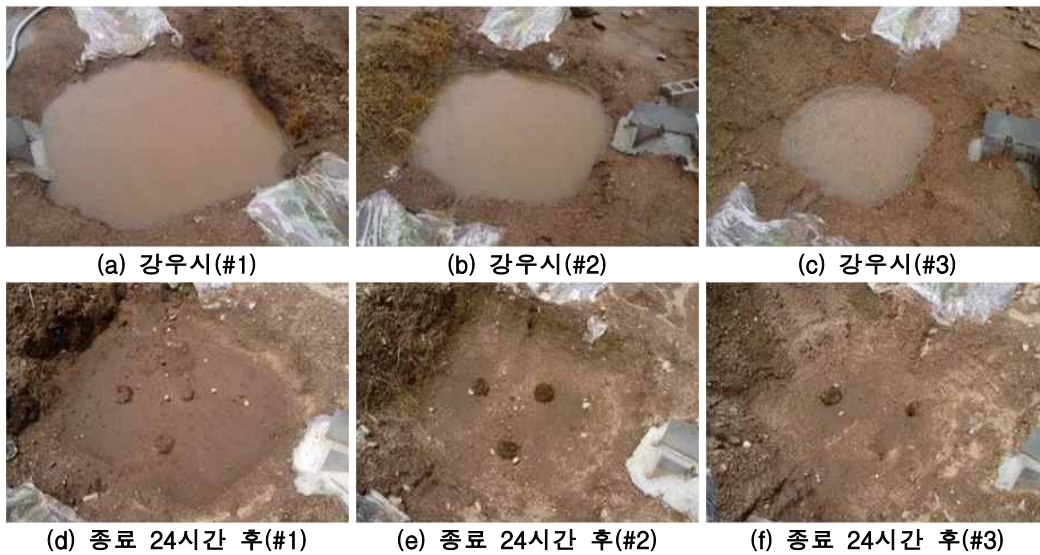


그림 3. 침사구의 수위변화

3.3 수질농도 및 부하량

시험포에서 발생한 침사구의 유입수와 침사구에서 발생한 유출수의 수질농도(EMC) 및 수질농도 저감율 산정 결과 BOD₅ 39.0%, SS 62.1%, COD_{Mn} 43.4%, DOC 43.5%, T-N 40.0%, T-P 41.2%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 저감효과 산정결과는 유출수가 발생하지 않은 강우유출수의 저감효과가

100%로 산정된 결과가 합산된 결과로서, 시험포에서 발생한 유출수의 수질농도 보다 침사구에서 발생한 유출수의 수질농도가 항상 낮게 나타나진 않았다. 이는 침사구에서 발생하는 유출수는 강우강도와 강우량이 매우 높을 경우에만 침사구의 용량을 초과하여 유출이 발생하기 때문에 카속턴 휠로 유입되는 유출수의 농도에 큰 오염물질이 포함되었기 때문으로 판단되며, 이에 반해 시험포에서 발생한 유출수는 강우강도가 높지 않아도 유출이 발생하며 일정한 간격으로 수질시료를 채취하였기 때문에 시험포의 EMC 농도가 낮은 경우가 발생한 것으로 판단된다. 따라서 침사구의 저감효과를 높이기 위해서는 침사구의 크기를 크게하여 침사구에 저류되는 시간을 증가시키거나, 침투량을 높일 수 있는 방안을 검토해야 할 것으로 판단된다.

침사구에 의해 저감된 오염부하량은 3개의 침사구 중 유입량이 많고, 수질농도의 저감효과가 적었던 #1 침사구의 경우 SS를 제외한 다른 수질항목의 부하량은 저감효과가 적은 것으로 나타났다. 이는 장마철 발생한 강우로 인해 유출량 저감효과와 수질농도 저감효과가 줄어들었기 때문으로 판단되며, SS 항목은 시험포에서 발생한 굵은 입자들이 침사구에 가라앉으면서 다른 수질항목들에 비해 높은 저감효과가 나타난 것으로 판단된다. 그러나 유출량이 적었던 #2와 #3의 침사구에서는 모든 수질항목에서 각각 80%와 90% 이상의 저감효과가 나타났다. 이는 침사구의 용량을 초과하지 않는 범위에서의 강우유출수가 발생한 경우 강우유출수가 침사구에 의해 모두 제거되었기 때문이다. 특히 7월 26~29일에 발생한 538.2 mm의 집중호우에도 #3 침사구에서 평균 60% 이상의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구의 결과를 바탕으로 밭에서 발생하는 비점오염물질 저감을 위해 밭의 유출부에 작은 웅덩이와 같은 침사구를 설치할 경우 비점오염을 저감하는데 매우 효과적인 것으로 판단된다. 또한 강우유출수가 적을 경우 침사구에 의한 유사량의 저감효과도 매우 클 것으로 판단된다. 따라서 밭에서 발생하는 비점오염원을 줄이기 위해서는 본 연구와 같이 밭의 지표층을 벗겨이나 다른 피복재 등으로 피복하여 토양의 이동을 최소화하여 오염부하량을 저감하여야 할 것으로 판단되며, 유출이 발생할 경우 밭의 유출부에 작은 웅덩이와 같은 침사구를 설치하여 하천으로 유입되는 오염물질을 저감해야 할 것으로 판단된다. 그러나 아직까지 침사구를 설치함에 따라 발생할 수 있는 문제점 등을 분석하지 않아, 추가적인 연구를 통해 침사구의 적정 규모나 유지관리 방법을 조사해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부와 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 지원되는 "새만금유역 농업비점오염 저감기법 개발 연구"의 일환으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 신민환, 원철희, 박운지, 최용훈, 장정렬, 임경재, 최종대 (2011). 지표피복재 적용을 통한 비점오염원 저감효과 분석. 한국농공학회. 53(4). pp. 29-37.
2. 환경부(2009). 강우유출수 조사방법
3. Garcia-Orenes, F., Cerda, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C. and Bodi, M. B. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil & Tillage Research*, **106**, pp. 117-123.
4. Masse, L., Patni, N. K., Jui, P. Y. and Clegg, B. S. (1996). Tile effluent quality and chemical losses under conventional and no tillage: II. Atrazine and metolachlor. *Trans. ASAE* 39. pp. 1673-1679.